

YDINVOIMALAITOKSEN SUOJARAKENNUKSEN PINNOITTEITA KOSKEVAT VAATIMUKSET

Kalervo Orantie, Hannele Kuosa, Eva Häkkä-Rönholm
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Tutkimuksen yhteyshenkilö Säteilyturvakeskuksessa **Heikki Saarikoski**

STUK:n raporttisarjoissa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

ISBN 951-712-451-1
ISSN 0785-9325

Edita Oyj, Helsinki 2001

ORANTIE Kalervo, KUOSA Hannele, HÄKKÄ-RÖNNHOLM Eva (VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka). Ydinvoimalaitoksen suojarakennuksen pinnoitteita koskevat vaatimukset. STUK-YTO-TR 179. Helsinki 2001. 18 s.

ISBN 951-712-451-1
ISSN 0785-9325

Avainsanat: suojarakennus, onnettomuustilanne, pinnoite, laadunvalvonta

ALKUSANAT

Nykyisiä ydinvoimalaitoksia rakennettaessa suojarakennuksen sisäpuolisiin pinnoitteisiin on sovellettu ohjetta USNRC Regulatory Guide 1.54 ja standardeja ANSI N101.2 vuodelta 1972 ja ANSI N101.4 niinikään vuodelta 1972.

Regulatory Guide 1.54 on uusittu vuonna 2000. ANSI N101.2 ja ANSI N101.4 ovat poistuneet käytöstä vuonna 1988.

Säteilyturvakeskuksen ydinvoimaloiden betoni- ja teräsrakenteita koskevissa ohjeissa YVL 4.1 ja YVL 4.2 ei ole esitetty yksityiskohtaisia vaatimuksia pinnoitemateriaalien hyväksymiselle, pinnoitustyön laadunvalvonnalle ja käytön aikaisille tarkastuksille.

Pohjoismaisella tasolla myöskään Fortum Power and Heat Oy:llä ja Teollisuuden Voima Oy:llä ei ole tällaisia vaatimuksia, joskin Teollisuuden Voima Oy on ollut mukana edellä mainittuja vaatimuksia valmistelemassa pohjoismaisessa työryhmässä ”Tekniska Bestämmelser för Utskydd” ruotsalaisten laitosten kanssa. Työryhmän työn tuloksena on olemassa ns. TBY-kriteeristö pinnoitteille.

Onnettomuustilanteissa kohdistuu suojarakennuksen sisäpuolisten rakenteiden pinnoitteisiin kuormituksia, jotka poikkeavat olennaisesti normaalisti käytön aikana esiintyvistä kuormituksista. Pinnoitteiden tulee olla sellaisia, että niistä ei aiheudu ylimääräistä haittaa onnettomuustilanteen hallitsemiselle. Tästä syystä tulee osoittaa mm., että pinnoitteiden irtoamista ei tapahdu siinä määrin, että virtausteitä voisi tukkeutua ja sydämen jäähdytys tai jälkilämmön poisto näin

vaarantua. Lisäksi tulee osoittaa, että onnettomuustilanteissa pinnoitemateriaalin mahdolliset kemialliset muutokset eivät synnytä uusia riskitekijöitä.

Lähivuosina on odotettavissa, että suojarakennusten sisäpuolisia pinnoitteita joudutaan uusimaan suuremmassakin mittakaavassa. Tätä varten Säteilyturvakeskus tarvitsee pinnoitussuunnitelmien tarkastusta varten edellä mainittuja YVL-ohjeita yksityiskohtaisemmat kriteerit. Lisäksi tarvitaan kriteerit pinnoitustyön laadunvalvontaa ja käytönaikaista kunnonvalvontaa varten.

Tässä julkaisussa esitetään ydinvoimalaitosten suojarakennuksen sisäpuolisten pinnoitteiden yksityiskohtaiset kriteerit ohjeissa YVL 4.1 ja YVL 4.2 esitetyille seuraaville suunnitteluvaatimuksille: säteilynkestävyys, dekontaminoitavuus, kemiallinen kestävyys, kestävyys käyttöolosuhteissa, kestävyys oletetuissa onnettomuustilanteissa ja palotekniset ominaisuudet.

Tässä julkaisussa esitettävät kriteerit perustuvat USNRC Regulatory Guide 1.54:ssä ja pohjoismaisen työryhmän raportissa (TBY) esitettyihin standardeihin, koemenetelmiin ja kriteereihin.

Kriteeristö on laadittu VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Kriteeristöstä on pyydetty ennen lopullisen version tekemistä lausunnot Fortum Power and Heat Oy:stä ja Teollisuuden Voima Oy:stä. Säteilyturvakeskuksen puolelta työtä on johtanut ylitarkastaja Heikki Saarikoski. VTT:llä tutkimusryhmään kuuluivat Kalervo Orantie, Hannele Kuosa ja Eva Häkkä-Rönholm.

SISÄLLYSLUETTELO

1	SÄTEILYNKESTÄVYYS	5
1.1	Toteaminen ASTM D 4082-95 mukaisesti	5
1.2	Koekappaleet	5
1.3	Koemenetelmä	6
1.4	Arvostelu ja raportointi	6
1.5	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	6
2	DEKONTAMINOITAVUUS	7
2.1	Toteaminen ISO 8690–88 mukaisesti	7
2.2	Koekappaleet	7
2.3	Ennakkokokeet ja testikappaleiden säilytys ja puhdistus	7
2.4	Kontaminointi- ja dekontaminointiaineet	7
2.5	Koestus (kontaminointi ja dekontaminointi)	7
2.6	Dekontaminoitavuuden arviointi ja tulosten raportointi	8
2.7	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	8
3	KEMIALLINEN KESTÄVYYS KÄYTTÖOLOSUHTEISSA	9
3.1	Toteaminen TBY:n mukaisesti	9
3.2	Koekappaleet	9
3.3	Kestävyys saippuositumista vastaan	9
3.3.1	Arvostelu ja raportointi:	9
3.3.2	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	10
3.4	Kestävyys täyssuolapoistettua vettä vastaan	10
3.4.1	Arvostelu ja raportointi	10
3.4.2	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	10
3.5	Testikemikaalit	10
3.5.1	Arvostelu ja raportointi	10
3.5.2	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	10
4	KESTÄVYYS KÄYTTÖOLOSUHTEISSA / TARTUNNAN ENNAKKOKOKEET	12
4.1	Toteaminen ASTM:n ja ISO:n mukaisesti	12
4.2	Koelaattojen (alustojen) pinnoitus	12
4.3	Arvostelu ja raportointi	13
4.4	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	13
5	KESTÄVYYS KÄYTTÖOLOSUHTEISSA / KULUTUKSENKESTÄVYYS	14
5.1	Toteaminen ASTM:n ja ISO:n mukaisesti	14
5.2	Koelustat ja niiden pinnoitus	14
5.3	Koemenetelmä	14
5.4	Arvostelu ja raportointi	14
5.5	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	15
6	KESTÄVYYS DBA-OLOSUHTEISSA	16
6.1	Toteaminen ASTM:n mukaisesti	16
6.2	Koekappaleet	16
6.3	Koemenetelmä	16
6.4	Arvostelu ja raportointi	16
6.5	Pinnoitteen hyväksymiskriteerit	17
6.6	Muut menetelmät	17
7	PALO-OMINAISUUDET	18
7.1	Toteaminen NT FIRE 007 – 1985 mukaisesti	18
7.2	Koekappaleiden pinnoitus	18
7.3	Arvostelu ja raportointi	18
7.4	Hyväksymiskriteerit	18

1 SÄTEILYNKESTÄVYYS

1.1 Toteaminen ASTM D 4082-95 mukaisesti

Pinnoitteiden säteilynkestävyyden tulee olla todettu. Säteilynkestävyys voidaan todeta hyväksytävästi standardin ASTM D 4082-95 mukaisesti (*Standard test Method for Effect of Gamma Radiation on Coatings for Use in Light-Water Nuclear Power Plants*).

Standardin ASTM D 4082 koemenetelmä antaa tiedon pinnoitteen yleisestä sopivuudesta säteilynkestävyyden osalta. Se ei ota huomioon tekijöitä, jotka voivat käytännön pinnoituksessa vaikuttaa saavutettavaan säteilynkestävyyteen (kuten pinnoitusolosuhteiden vaikutus, pinnoitustyön suoritus ja pinnoitteen kovettuminen käytännön olosuhteissa). Menetelmä kattaa 40 vuoden käyttöajan säteilyn ja myös säteilyn DBA-olosuhteessa (DBA = Design Basis Accident). Itse DBA-olosuhteen kestävyys tulee todeta lisäksi erikseen (kohta 6 Kestävyys DBA-olosuhteessa).

1.2 Koekappaleet

Standardin ASTM D 4082 koemenetelmässä käytetään standardin ASTM D 5139-90 *Standard Specification for Sample Preparation for Qualification Testing of Coating to be Used in Nuclear Power Plants* mukaisia koekappaleita, ellei toisin sovita.

Standardissa ASTM D 4082 on esimerkiksi annettu pinnoitettavien kappaleiden pienin koko sekä metallisten (kuten teräs) että betonikappaleiden ja muiden valettavien materiaalien osalta. Pinnoitettavien kappaleiden koostumus voidaan sopia asianmukaisesti muutettavaksi esimerkiksi Suomessa vallitsevaan testauskäytäntöön tai kysymyksessä olevaan tapaukseen soveltuvaksi.

Erikseen tulee sopia siitä, miten pinnoitettavi-

en koekappaleiden pinta saadaan vastaamaan riittävän hyvin kulloinkin kyseessä olevaa tapausta. Ellei toisin sovita, teräspinnat suihkupuhdistetaan. Betonipintojen osalta tulee ottaa huomioon mm. jälkihoitoaineen käyttö, muotiniirrotusaineen käyttö sekä pinnan puhdistusmenetelmä. Tarvittaessa koekappaleen pinnan käsittelyssä voidaan sopia sovellettavaksi standardia:

- ASTM D4258-83(1999) Standard Practice for Surface Cleaning Concrete for Coating
- ASTM D 4259-88(1999) Standard Practice for Abrading Concrete tai
- ASTM D 4260-88(1999) Standard Practice for Acid Etching Concrete).

Kappaleiden päät jätetään pinnoittamatta. Kappaleen päähän kiinnitetään kyseessä olevassa testauslaitteistossa (säteilynkestävyys) vaadittava ripustin.¹

Koekappaleiden pinnoitus tehdään kaikilta osin pinnoitteen valmistajan antamien kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Pinnoitteen tulee sisältää kaikki ne kerrokset, jotka kyseinen pinnoitusjärjestelmä sisältää. Kerrospaksuuksien tulee vastata kyseessä olevaa tapausta. Tiedot pinnoituksesta dokumentoidaan kuten on esitetty standardissa ASTM D 5139 (kohta 9, Documentation). Vähintään dokumentoidaan

- pinnoitusajankohta
- kappaleen pinnan käsittely ennen pinnoittamista
- pinnoituskerrokset (järjestys)
- kunkin erillisen pinnoitekerroksen paksuus (paksuuden vaihteluala)
- koko pinnoitekerroksen paksuus (vaihteluala)
- pinnoitusolosuhteet ja
- pinnoite-erän tunnistetiedot.

¹ Kappaleet pinnoitetaan kaikilta sivuiltaan silloin, kun ne valmistetaan pinnoitteen kemiallisen kestävyuden määrittämiseen käytettäväksi (ASTM D 3912), mutta ei siis tässä tapauksessa (säteilynkestävyys) – eikä myöskään DBA-kestävyyttä määritettäessä (ASTM D 4082).

Koekappaleiden määrä tulee sopia ja sen tulee olla vähintään 2.

1.3 Koemenetelmä

Säteilytys tehdään standardin ASTM D 4082 kohdan 6 (Procedures) mukaisesti:

- Gammasäteilytyksen (*'gamma energy field'*) tulee olla vähintään $1 \cdot 10^6$ rads/h.
- Ellei toisin sovita, tulee säteily määrän (*'accumulated dose'*) olla kokeessa kaikkiaan $1 \cdot 10^8$ rads ($= 1 \cdot 10^6$ J/kg $= 1 \cdot 10^6$ Gy).²
- Säteiläytys tehdään tapauksen mukaan erikseen sovittavissa olosuhteissa; vedessä tai ilmassa.

1.4 Arvostelu ja raportointi

Koekappaleet tarkastetaan välittömästi kokeen jälkeen ja mahdolliset pinnoiteviat havainnoidaan ja dokumentoidaan seuraavasti:

- Liituuntuminen (Chalking ASTM D 659 tai ISO 4628/6:1990 tai SF-EN XX).
- Hiushalkeilu (Cheking ASTM D 660).

- Halkeilu (Cracking, ISO 4628/4:1982 tai ASTM D 661 tai SF-EN XX).
- Kupliminen (Blistering, ISO 4628/2:1982 tai ASTM D 714 tai SF-EN XX).
- Hilseily (kesiminen, kuoriutuminen) (Flaking, ISO 4628/5:1982 tai ASTM D 772 tai SF-EN XX).
- Delaminaatio: *Delaminaatio tarkoittaa sitä, että pinnoite irtoaa alustastaan tai erilliset pinnoitekerrokset irtoavat toisistaan.* (Delamination ANSI 5.12-1974, ei voimassa).

Lisäksi dokumentoidaan kaikki tavallisuudesta poikkeava koekappaleiden ulkonäössä ja/tai niiden vaurioitumisessa

1.5 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Ellei toisin sovita, hiushalkeilua, halkeilua, kuplimista, hilseilyä, kesimistä tai kuoriutumista, pinnoitteen irtoamista alustasta tai erillisten pinnoitekerrosten irtoamista toisistaan ei sallita.

² Gray (Gy): A gray, like the rad, measures the radiation absorbed by a person or animal. One gray is equal to 1 J of absorbed radiation per kilogram (of person or animal).
Gy = 1 J/kg,
1 Gy = 100 rads.

2 DEKONTAMINOITAVUUS

2.1 Toteaminen ISO 8690–88 mukaisesti

Pinnoitteiden kontaminoituminen radioaktiivisilla aineilla ja puhdistettavuus vaihtelevat. Pinnoitteille parhaiten soveltuvat puhdistusmenetelmät voivat myös vaihdella. Vertailutietoa eri pinnoitteiden kontaminoitumisesta radionuklideilla ja puhdistettavuudesta voidaan saada standardin ISO 8690–88 menetelmällä (*Decontamination of radioactively contaminated surfaces – method for testing and assessing the ease of decontamination*).

Menetelmä ISO 8690 antaa tiedon pinnan/pinnoitteen puhdistettavuudesta standardin mukaisessa laboratoriokokeessa. Pinnoitteen puhdistavuuskokeita voidaan sopia tehtäväksi myös haluttuja käytännön tapauksia vastaavasti. Tällöin valitaan erikseen tapausta vastaava kontaminointi- ja dekontaminointimenetelmä.

2.2 Koekappaleet

Tutkittaessa pinnoitteen puhdistettavuutta valmistetaan standardin ISO 8690 menetelmään soveltuvat koekappaleet, jotka sisältävät tutkittavan pinnoitekerroksen. Ellei muuta sovita, kappaleiden pinnoitus tehdään kuten on esitetty kohdassa 1 Säteilynkestävyys.

Mahdollinen pinnoitteen käsittely ennen dekontaminoitavuuden määrittämistä sovitaan erikseen (mekaaninen kuten kulutus, lämpö, kemiallinen käsittely).

Kutakin tutkittavaa tapausta kohden valmistetaan 15 yhtäläistä säteilytettyä ja 15 säteilyttämätöntä koekappaletta. Koekappaleiden koon tulee olla 50 (–2/+10) mm × 50 (–2/+10) mm ja paksuuden 1–10 mm.

2.3 Ennakkokokeet ja testikappaleiden säilytys ja puhdistus

Ennen varsinaista koestusta tulee todeta pinnoitteen puhdistuskemikaalinkestävyys. Tämä tehdään kuten on esitetty standardissa ISO 8690 ellei pinnoitteen kemikaalinkestävyydestä ole tältä osin muuta ennakkotietoa. Pinnoitteen tulee kestää puhdistuskäsittely ilman että sen väri tai kiilto oleellisesti muuttuvat.

Ellei toisin sovita, varsinaisia testikappaleita – 10 kpl (= 5 + 5) säteilytettyä ja 10 kpl (= 5 + 5) säteilyttämätöntä – säilytetään ennen koestusta ja ne puhdistetaan kuten on esitetty standardissa ISO 8690.

2.4 Kontaminointi- ja dekontaminointiaineet

Kontaminoinnissa käytetään kahta erillistä liuosta (erilliset kokeet), joista toisessa on radionuklideja ¹³⁷Cs ja toisessa radionuklideja ⁶⁰Co. Liuosten tulee olla standardin ISO 8690 mukaisia (mm. haihdutettaessa 100 µl liuosta tulee aikaansaada vähintään pulssimäärä 200 000 pulssia/min – yleensä konsentraatio 0,2 MBq/ml on riittävä). Muunlaisten liuosten käytöstä ja käytön perusteista sovitaan erikseen.

Dekontaminoinnissa käytetään standardin ISO 8690 mukaista demineralisoitua vettä.

2.5 Koestus (kontaminointi ja dekontaminointi)

Standardin ISO 8690 mukaisesti määritetään erikseen kummankin kontaminointiliuoksen omi-

naispulssitaajuus (*'specific pulse rate'*), pulssia/minuutti/millilitra.

Kummallakin testiliuoksella kontaminoidaan viisi (5) pinnoitettua ja säteilytettyä sekä viisi (5) pinnoitettua ja säteilyttämätöntä testikappaletta standardin ISO 8690 mukaisesti.

Testikappaleet dekontaminoidaan, jäljelle jäävät pulssitaajuudet mitataan ja tulokset lasketaan kuten on esitetty standardissa ISO 8690:

- Viisi (5 kpl) samalla tavoin kontaminoitua rinnakkaista testikappaletta dekontaminoidaan yhtäaikaaisesti standardin mukaisessa koejärjestelyssä ja -laitteistolla käyttäen dekontaminoinnissa standardin mukaista demineralisointia vettä.
- Kuivatuksen jälkeen määritetään kunkin testikappaleen jäljellä oleva pulssitaajuus.
- Tuloksiin perustuen kummankin käytetyn radionuklidin (^{137}Cs ja ^{60}Co) osalta lasketaan ensin erikseen viiden tuloksen keskiarvona standardisoitu jäljellä oleva pulssitaajuus (*'standardised mean residual pulse rate' – referenssiarvona on $3 \cdot 10^6$ pulssia/minuutti/millilitra*), pulssia/minuutti.
- Lopullinen tulos eli lopullinen jäljellä oleva pulssitaajuus (FRP = *'final residual pulse rate'*), pulssia/minuutti, on keskiarvo edellisistä kahdesta radionuklideille ^{137}Cs ja ^{60}Co erikseen määritetystä standardisoidusta jäljellä olevasta pulssitaajuudesta.

Taulukko I. Pinnoitteen arviointi dekontaminoitavuuden osalta.

Lopullinen jäljellä oleva pulssitaajuus, FRP (FRP = 'final residual pulse rate'), pulssia/minuutti	Dekontaminoitavuus
< 3 500	Erinomainen
3 500 ... 15 000	Hyvä
15 000 ... 60 000	Kohtuullinen
> 60 000	Huono

2.6 Dekontaminoitavuuden arviointi ja tulosten raportointi

Dekontaminoitavuus arvioidaan taulukon I mukaisesti. Arviointi pätee vain silloin, kun koemenetelmässä on käytetty radionuklideja ^{137}Cs ja ^{60}Co .

Tulosten raportoinnin tulee sisältää tiedot, jotka on esitetty standardin ISO 8690 liitteessä D (Esimerkki koetulosraportin muodosta).

2.7 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Ellei toisin sovita, pinnoitteen dekontaminoitavuuden tulee olla "erinomainen". Kuitenkin käyttökohde ja pinnoitusala huomioon ottaen voidaan dekontaminoitavuudeksi sallia myös "hyvä" (ks. kohta 2.6, taulukko I).

3 KEMIALLINEN KESTÄVYYS KÄYTTÖOLOSUHTEISSA

3.1 Toteaminen TBY:n mukaisesti

Kemiallisen kestävyuden toteaminen tarkoittaa tässä saippuoitumisen, täyssuolapoistetun veden ja eräiden kemikaalien kestävyyttä. Mikäli reaktorirakennuksessa käytetään muita kemikaaleja, tulee pinnoitteen kestävyys niiden osalta selvittää tapauskohtaisesti.

3.2 Koekappaleet

Pinnoitettavien koekappaleiden tulee olla periaatteessa standardin ASTM D 5139-90 *Standard Specification for Sample Preparation for Qualification Testing of Coating to be Used in Nuclear Power Plants* mukaisia, ellei toisin sovita. Pinnoitettavien betonikappaleiden massakoostumus voidaan sopia asianmukaisesti muutettavaksi esimerkiksi Suomessa vallitsevaan testauskäyttöön tai kysymyksessä olevaan tapaukseen soveltuvaksi. Pinnoitettavien betonikappaleiden tulee olla kooltaan vähintään 40×40×160 mm³ ja ne pinnoitetaan kaikilta pinnoiltaan. Pinnoitettavien teräskappaleiden pinta-alan tulee olla vähintään 100×150 mm².

Erikseen tulee sopia siitä, miten pinnoitettavien koekappaleiden pinta saadaan vastaamaan riittävän hyvin kulloinkin kyseessä olevaa tapausta. Ellei toisin sovita, teräspinnat suihkupuhostetaan. Betonipintojen osalta tulee ottaa huomioon mm. jälkihoitoaineen käyttö, muotiniirrotusaineen käyttö sekä pinnan puhdistusmenetelmä. Tarvittaessa koekappaleen pinnan käsittelyssä voidaan sopia sovellettavaksi standardia:

- ASTM D 4258-83(1999) Standard Practice for Surface Cleaning Concrete for Coating
- ASTM D 4259-88(1999) Standard Practice for Abrading Concrete tai

- ASTM D 4260-88(1999) Standard Practice for Acid Etching Concrete.

Koekappaleiden pinnoitus tehdään kaikilta osin pinnoitteen valmistajan antamien kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Pinnoitteen tulee sisältää kaikki ne kerrokset, jotka kyseinen pinnoitussysteemi sisältää. Kerrospaksuuksien tulee vastata kyseessä olevaa tapausta. Tiedot pinnoituksesta dokumentoidaan kuten on esitetty standardissa ASTM D 5139 (kohta 9, Documentation). Vähintään dokumentoidaan

- pinnoitusajankohta
- kappaleen pinna käsittely ennen pinnoittamista
- pinnoituskerrokset (järjestys)
- kunkin erillisen pinnoitekerroksen paksuus (paksuuden vaihtelualue)
- koko pinnoitekerroksen paksuus (vaihtelualue)
- pinnoitusolosuhteet ja
- pinnoite-erän tunnistetiedot.

Koekappaleiden määrä tulee sopia ja sen tulee olla vähintään 2.

3.3 Kestävyys saippuoitumista vastaan

Suoraan betonia vasten tulevan pinnoitteen saippuoitumisenkestävyyden tulee olla testattu. Testilevyt pidetään kolmen kuukauden ajan upoksissa kylläisessä noin +50 °C lämpöisessä kalsiumhydroksidipitoisessa Ca(OH)₂ vedessä.

3.3.1 Arvostelu ja raportointi:

Koekappaleet arvostellaan aikaisintaan 24 tunnin kuluttua siitä, kun ne on nostettu kalsiumhydrok-

sidipitoisesta vedestä. Arvostelussa ei saa esiintyä heikentymistä ennen testiä vallinneeseen tilanteeseen. Raportissa esitetään

- tartunta (ISO 4642-78 tai ASTM D 4541-95)
- hilseily (Flaking, ISO 4628/5:1982 tai ASTM D 772 tai SF-EN XX) ja
- kupliminen (Blistering, ISO 4628/2:1982 tai ASTM D 714 tai SF-EN XX).

3.3.2 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Pinnoitteen hyväksymiskriteerit saippuoitumista vastaan esitetään kohdassa 3.5.2 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit.

3.4 Kestävyys täyssuolapoistettua vettä vastaan

Testilevyt pidetään kuuden kuukauden ajan upottuna täyssuolapoistetussa vedessä, jonka sähkönjohtokyvyn tulee olla +25 °C lämpöisessä vedessä mitattuna pienempi kuin $2\mu\text{S cm}^{-1}$.

3.4.1 Arvostelu ja raportointi

Koekappaleet arvostellaan aikaisintaan 24 tunnin kuluttua siitä, kun ne on nostettu täyssuolapoistetusta vedestä. Raportissa esitetään

- tartunta (ISO 4642: 1978 tai ASTM D 4541-95)
- kupliminen (Blistering, ISO 4628/2:1982 tai ASTM D 714 tai SF-EN XX)
- delaminaatio (Delamination ANSI 5.12-1974, ei voimassa)
- hilseily (Flaking ISO 4628/5:1982 tai ASTM D 77)
- kiilto (Gloss ISO 2813:1994, 60 °).

3.4.2 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Pinnoitteen hyväksymiskriteerit täyssuolapoistetun veden kestävyydelle esitetään kohdassa 3.5.2 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit.

3.5 Testikemikaalit

Pinnoitteiden kemiallisen kestävyys tulee olla todettu kaikille kemikaaleille, joiden vaikutukselle pinnoitteet saattavat olla alttiina. Tämä koskee myös pintojen dekontaminoinnissa käytettäviä kemikaaleja. Kemiallinen kestävyys määritetään ainakin taulukossa II esitetyille pinnoitteille.

3.5.1 Arvostelu ja raportointi

Koekappaleet arvostellaan aikaisintaan 24 tunnin ja enintään 48 tunnin kuluttua siitä, kun ne on poistettu testiliuoksesta. Mahdolliset pinnoiteviat havainnoidaan ja dokumentoidaan seuraavasti:

- Tartunta (ISO 4642-78 tai ASTM D 4541-95).
- Kupliminen (Blistering, ISO 4628/2:1982 tai ASTM D 714 tai SF-EN XX).
- Delaminaatio (Delamination ANSI 5.12-1974, ei voimassa).
- Hilseily (Flaking, ISO 4628/5:1982 tai ASTM D 772).
- Kiilto (Gloss ISO 2813:1994, 60°).

3.5.2 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

- Betonipinnoilla tartuntalujuuden tulee olla:
 - lattiapinnat vähintään 2,5 MPa
 - seinät, pilarit, palkit ja katot vähintään 1,5 MPa.
- Teräspinnoilla tartuntalujuuden tulee olla vähintään 5 MPa.
- Kuplimisen tulee rajoittua muutamaan ehjään kuplaan, enintään koko 4, tiheys 2 (ISO 4628/2-1982 E).
- Delaminointumista, hilseilyä, halkeilua ja pehmenemistä ei saa esiintyä.
- Tahmeutta ei saa esiintyä – pinnan tulee olla kosketuskuiva normaalisti kosketettaessa.
- Kiillon kohtuullinen haalistuminen on sallittu.

Taulukko II. Kemikaalit ja niiden vaikutusajat.

Kemikaali	Pitoisuus	Lämpötila °C	Kestoaika h	Lattia, seinä- ja kattopinnoitteet	Pinnoite teräspinnalla ³⁾
Rikkihappo ¹⁾	245 g/l	23	24	X	X
Typpihappo	5 %	20	2	X	
Suola happo ²⁾	5 %	20	2 ²⁾	X	
Sitruunahappo	5 %	20	2	X	
Boorihappo ²⁾	6 %	20	2 ²⁾	X	
Booraksi	10 %	20	2	X	
Natrium-hydroksidi	250 g/l	23	24	X	X
Rauta(II)-sulfaatti	10 %	20	2	X	
Emäksinen pesuaine pH 12	2 %	50	0,5	X	X
Etanoli	95 %	20	0.1	X	X
Asetoni	100 %	20	0.1	X	X
Hydratsiini ²⁾	15 %	20	2 ²⁾	X	

1) Rikkihappo, jonka tiheys on 1,84 kg/m³.

2) Testin kesto aika määritetään voimalaitoskohtaisesti.

3) Ei koske sinkkipitoista primeriä teräspinnoilla.

4 KESTÄVYYS KÄYTTÖOLOSUHTEISSA / TARTUNNAN ENNAKKOKOKEET

4.1 Toteaminen ASTM:n ja ISO:n mukaisesti

Pinnoitteen tartuntalujuus alustaan tulee määrittää kyseiseen tapaukseen soveltuvalla ennakkokokeella.

Ennakkokokeena voidaan käyttää myös kyseisessä kohteessa tehtävää koepinnoitusta ja pinnoitteen tartuntalujuuden määrittämistä. Kyseisessä kohteessa tehtävä pinnoitteen tartuntalujuus määritetään soveltuvien osin kuten tässä esitetään.

Erikseen tulee sopia siitä, miten pinnoitettavien koekappaleiden pinta saadaan vastaamaan riittävän hyvin kulloinkin kyseessä olevaa tapausta. Betonipintojen osalta tulee ottaa huomioon mm. jälkihoitoaineen käyttö, muotinirrotusaineen käyttö sekä pinnan puhdistusmenetelmä. Tarvittaessa koelaattojen valmistuksessa ja pinnan käsittelyssä voidaan sopia sovellettavaksi standardeja

- ASTM D 5139 (Standard Specification for Sample Preparation for Qualification Testing of Coating to be Used in Nuclear Power Plants)
- ISO 1514-93 Paint and varnishes – standard panels for testing
- ASTM D 4258-83(1999) Standard Practice for Surface Cleaning Concrete for Coating
- ASTM D 4259-88(1999) Standard Practice for Abrading Concrete tai
- ASTM D 4260-88(1999) Standard Practice for Acid Etching Concrete.

4.2 Koelaattojen (alustojen) pinnoitus

Koelaattojen (alustojen) pinnoitus tehdään kaikilta osin pinnoitteen valmistajan antamien kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Pinnoitteen tulee sisältää kaikki ne kerrokset, jotka kyseinen pinnoitussysteemi sisältää. Kerrospaksuuksien tulee vastata kyseessä olevaa tapausta.

Tiedot pinnoituksesta dokumentoidaan kuten on esitetty standardissa ASTM D 5139 (*kohta 9, Dokumentation*). Vähintään dokumentoidaan

- pinnoitusajankohta
- kappaleen pinnan käsittely ennen pinnoittamista
- pinnoitekerrokset (järjestys)
- kunkin erillisen pinnoitekerroksen paksuus (paksuuden vaihtelualue)
- koko pinnoitekerroksen paksuus (vaihtelualue)
- pinnoitusolosuhteet ja
- pinnoite-erän tunnistetiedot.

Tartuntalujuuden määrittämistä varten pinnoitetaan vähintään kaksi (2) laattaa (pinnoitusalus-
taa). Kummastakin pinnoitetusta laatasta määritetään vähintään kolme (3) tartuntalujuusarvoa.

Tartuntalujuus määritetään suorassa vedossa kuten on esitetty standardissa

- ASTM D 4541-95 Standard Test method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers tai
- ISO 4642-78 Paint and varnishes – Pull-off test for adhesion.

Tartuntalujuuden arvoon voi vaikuttaa se, mitä laitteistoa määrittäessä käytetään. Tämä tulee ottaa huomioon eri laitteistoilla määritettyjä arvoja verrattaessa. Erikseen tule sopia siitä, millä laitteistolla tartuntalujuus määritetään. Vetokappaleiden läpimitan tulee olla 20 mm.

4.3 Arvostelu ja raportointi

Tulokset raportoidaan käytetyn standardin mukaisesti. Raportoinnin tulee sisältää

- testattujen koekappaleiden tunnistetiedot (pinnoite, pinnoitusalue, pinnoittaja – pinnoituksen dokumentoinnin osalta ks. myös kohta 4.2 ”Koelaattojen (alustojen) pinnoitus”)
- testauksessa käytetty standardi ja testauksessa käytetty laitteisto

- testausajankohta ja testausolosuhteet
- koetulokset raportoituna käytetyn standardin mukaisesti.

4.4 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Betonipinnoilla tartuntalujuuden tulee olla ennakokokeessa:

- lattiapinnat vähintään 2,5 MPa
- seinät, pilarit, palkit ja katot vähintään 1,5 Mpa.

Teräspinnoilla tartuntalujuuden tulee olla ennakokokeessa vähintään 5 MPa.

5 KESTÄVYYS KÄYTTÖOLOSUHTEISSA / KULUTUKSENKESTÄVYYS

5.1 Toteaminen ASTM:n ja ISO:n mukaisesti

Lattiapinnoitteiden ja muiden pinnoitteiden, joiden kulutuskestävyydellä katsotaan olevan vastaavaa merkitystä, kulutuksenkestävyyden tulee olla todettu.

Kulutuskestävyys voidaan todeta hyväksyttävästi standardien

- ISO 7784-2-97 (Paints and varnishes – Determination of resistance to abrasion – Part 2: Rotating abrasive rubber wheel method) ja
- ASTM D 5144 (Standard Test Method for Abrasion Resistance of organic Coatings by the Taber Abraser)

mukaisessa kokeessa (laitteella ”Taber Abraser tester”).

Menetelmällä saadaan tietoa pinnoitteen kyvystä kestää siihen kohdistuvaa käytön aikaista mekaanista rasitusta.

Kokeessa tulee käyttää hiontapyörää ”CVS-17” (*abrasive wheel*) ja 1000 g:n painoa sekä hiontapyörien uudelleenpinnoituksessa hiontakiekkoa ”S-11” (*resurfacing medium*; *abrasive disk*).

5.2 Koealustat ja niiden pinnoitus

Koealustojen tulee olla standardien ASTM D 5144 ja ISO 7784-2 mukaisia eli sellaisia, että ne voidaan kiinnittää testauslaitteeseen. Niiden tulee olla jäykkiä kiekkoja tai levyjä (halkaisija tai sivun pituus 100 mm) ja niiden keskellä tulee olla 6,3 mm:n reikä.

Testattavaa pinnoitetta kohden tulee pinnoittaa vähintään 2 säteilytettyä ja 2 säteilyttämätöntä koealustaa. Pinnoitekerroksen tulee olla tasapaksu. Koealustojen pinnoitus tehdään kaikilta osin pinnoitteen valmistajan antamien kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Pinnoitteen tulee sisältää

kaikki ne kerrokset, jotka kyseinen pinnoitusjärjestelmä sisältää. Kerrospaksuuksien tulee vastata kyseessä olevaa tapausta.

Tiedot pinnoituksesta dokumentoidaan kuten on esitetty standardissa ASTM D 5139 (*kohta 9, Dokumentation*). Vähintään dokumentoidaan

- pinnoitusajankohta
- pinnoitekerrokset (järjestys)
- kunkin erillisen pinnoitekerroksen paksuus (paksuuden vaihteluarvo)
- koko pinnoitekerroksen paksuus (paksuuden vaihteluarvo)
- pinnoitusolosuhteet ja
- pinnoite-erän tunnistetiedot.

5.3 Koemenetelmä

Koe tehdään standardien ISO 7784-2 ja ASTM D 5144 mukaan seuraavasti:

- Hiontapyörä ”CVS-17” (*abrasive wheel*).
- 1000 g:n paino.
- Hiontapyörien uudelleenpinnoitus standardin mukaisesti kiekolla ”S-11” (*resurfacing medium*, *abrasive disk*).
- Lasketaan painonmuutos mg/1000 kierrosta.
- Mitataan kuluman keskiarvosyvyys 1000 kierroksen jälkeen.

5.4 Arvostelu ja raportointi

Tulokset raportoidaan käytetyn standardin mukaisesti. Raportoinnin tulee sisältää

- testattujen koekappaleiden tunnistetiedot ja tiedot pinnoituksesta tai viittaus ko. tietojen dokumentointiin
- pinnoitteiden säilytysolosuhteet ja aika ennen testausta
- laitteistotiedot kuten käytetty hiontapyörä, paino ja uudelleenpinnoituksessa käytetty kiekko (ks. edellä – ovat tässä määrättyjä)

- testausajankohta ja testausolosuhteet,
- kunkin erillisen testin tulos (vähintään 2 erillistä testausta), painonmuutos mg/1000 kierrosta sekä kuluman keskiarvosyvyys 1000 kierroksen jälkeen
- kulutuskestävyyden keskiarvotulos, painonmuutos mg/1000 kierrosta.

5.5 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Painonmuutoksen keskiarvotuloksen tulee olla alle 175 mg/1000 kierrosta Kuluman keskiarvosyvyys ei ole arvostelukriteerinä, mutta se kuitenkin raportoidaan.

6 KESTÄVYYS DBA-OLOSUHTEISSA

6.1 Toteaminen ASTM:n mukaisesti

Pinnoitteen kestävyys DBA-olosuhteissa (DBA = Design Basis Accident) tulee olla todettu. Kestävyys DBA-olosuhteissa voidaan todeta hyväksytävästi standardin ASTM D 3911-95 mukaisesti (*Standard Test Method for Evaluating Coatings Used in Light-Water Nuclear Power Plants at Simulated Design Basis Accident (DBA) Conditions*).

Menetelmä antaa tiedon pinnoitteen yleisestä kyvystä pysyä eheänä valitussa DBA-olosuhteissa. Kussakin tapauksessa tulee lisäksi erikseen arvioida, voivatko tekijät kuten pinnoitusolosuhte, pinnoitustyön suoritus tai pinnoitteen kovettuminen kyseessä olevassa käytännön tapauksessa vaikuttaa epäedullisesti pinnoitteen DBA-kestävyyteen. Näiden tekijöiden huomioon otto saat-
taa vaatia vastaavien lisäkokeiden suorittamista.

Menetelmässä käytetään laitteistoa, jolla voidaan aikaansaada standardissa ASTM D 3911 esitetyn mukaisesti haluttua DBA-olosuhdetta vastaavat muuttuvat lämpötila- ja paineolosuhteet.

6.2 Koekappaleet

Menetelmässä pinnoitettujen koekappaleiden määrä on 4. Koekappaleiden valmistus ja pinnoitus tehdään periaatteessa kuten on esitetty kohdassa 1 Säteilynkestävyys. Tarpeen vaatiessa koekappaleet valmistetaan ja pinnoitetaan kyseessä olevaa tapausta vastaavasti. 2 koekappaletta säteilytetään ennen DBA-koetta kohdassa 1 Säteilynkestävyys esitetyn mukaisesti.

6.3 Koemenetelmä

Koe tehdään standardin ASTM D 4082 kohdan 7 (Procedure) mukaan seuraavasti:

- Ennen koestusta kaikki koekappaleet valokuva-
taan (valokuvausajankohta sovitaan erikseen
ja kuvaus tehdään vastaavasti kuin on esitetty
kohdassa 6.4 ”Arvostelu ja raportointi”).
- Koestus tehdään kyseessä olevan tapauksen
mukaisessa aika-lämpötila-paine -olosuhteis-
sa (kyseinen DBA-olosuhde) tai ankarammas-
sa olosuhteissa (esim. standardissa ASTM D
4082 esitettyjen esimerkkien mukaisia olosuh-
teita voidaan käyttää).³
- Aluksi lämpötilashokin aikaansaamisessa käy-
tetään höyryä ja myöhemmässä vaiheessa esi-
merkiksi lämmityselementtejä. Höyryä ei
suunnata suoraan koekappaleiden päälle. Tes-
tauskammioon tulevan höyryn ollessa lämpöti-
laltaan yli 188 °C höyryn tuloaika rajoitetaan
15 minuuttiin.
- Ellei toisin sovita, käytetään deionisoitua
vettä.

6.4 Arvostelu ja raportointi

Koekappaleet tarkastetaan 4 tunnin sekä 14 vuo-
rokauden kuluttua kokeen päättymisestä ja mah-
dolliset pinnoiteviat havainnoidaan ja dokumen-
toidaan seuraavasti:

- Pinnoitteen irtoaminen alustasta tai erillisten
pinnoitekerrosten irtoaminen toisistaan (*Delamination*).
- Kesiminen/kuoriutuminen (*Peeling*).
- Halkeilu (*Cracking*, ISO 4628/4:1982 tai
ASTM D 661).

³ Standardin ASTM D 3911 esimerkkitapauksissa (2 tapausta) suurin lämpötila on 171 °C (tai 152 °C) ja suurin paine on 4,83 bar (tai 4,14 bar). Kokeen nousuvaihe+vakiövaihe on kestoaltaan yhteensä 6 tuntia (tai 2,8 tuntia). Koko koestusaika (jähdytysvaihe mukaan lukien) kestää noin 7 vuorokautta.

- Kupliminen (*Blistering, ISO 4628/2:1982 tai ASTM D 714*).

Lisäksi dokumentoidaan kaikki tavallisuudesta poikkeava koekappaleiden ulkonäössä ja/tai niiden vaurioitumisessa ja koekappaleet valokuvataan (sopimuksen mukaisesti tai esim. värikuvat, noin luonnollinen koko, kaikki sivut tai vähintään sivut, joissa vaurioita tai muita muutoksia).

Vauriot, jotka sijaitsevat koekappaleiden reuna-alueella (noin 6 mm:n levyiset kaistat) voidaan jättää arvioinnissa huomiotta.

6.5 Pinnoitteen hyväksymiskriteerit

Seuraavassa on esitetty vähimmäiskriteerit. Haluttaessa voidaan asettaa myös tiukempia hyväksymiskriteerejä.

Pinnoitteen kesimistä/kuoriutumista tai pinnoitteen irtoamista alustasta tai erillisten pinnoitekerrosten irtoaminen toisistaan ei sallita. Halkeilua ei tässä katsota vaurioksi, ellei se aiheuta pinnoitteen irtoamista alustastaan tai erillisten pinnoitekerrosten irtoamista toisistaan. Pinnoitteeseen saa muodostua vain rikkoutumattomia rakkuloita, jotka ovat erillisinä muutoin ehjässä ja alustassaan hyvin kiinni olevassa pinnoitteessa.

Huomautuksena:

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \cdot (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$1 \text{ psig} = 0,06897 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psig.}$$

6.6 Muut menetelmät

Jos halutaan käyttää muita menetelmiä kuin ASTM D 3911–95, tulee ne hyväksyttää erikseen.

7 PALO-OMINAISUUDET

7.1 Toteaminen NT FIRE 007 – 1985 mukaisesti

Pinnoitteiden palonlevitysominaisuus ja savunotto tulee määrittää. Määritykset tehdään standardin NT FIRE 007 – 1985 (*Floorings: Fire spread and smoke generation*) mukaisella menetelmällä.⁴

7.2 Koekappaleiden pinnoitus

Koestusta varten valmistetaan neljä (4) pinnoitettua koekappaletta (pinnoitettua alustaa). Pinnoitettavien alustojen tulee olla ominaisuuksiltaan (kuten palavuus ja tiheys) standardin mukaisia (pinta-ala 400 mm × 1000 mm) – ks. myös Ympäristöministeriön julkaisu ”Rakennustuotteiden palotekninen hyväksyntä, Ympäristöopas 35, 1998”

Koekappaleiden pinnoitus tehdään kaikilta osin pinnoitteen valmistajan antamien kirjallisten ohjeiden mukaisesti. Pinnoitteen tulee sisältää kaikki ne kerrokset, jotka kyseinen pinnoitussysteemi sisältää. Kerrospaksuuksien tulee vastata kyseessä olevaa tapausta.

Tiedot pinnoituksesta dokumentoidaan kuten on esitetty standardissa ASTM D 5139 (*kohta 9, Dokumentation*). Vähintään dokumentoidaan

- pinnoitusajankohta
- kappaleen pinnan käsittely ennen pinnoittamista

- pinnoitekerrokset (järjestys)
- kunkin erillisen pinnoitekerroksen paksuus (paksuuden vaihtelualue)
- koko pinnoitekerroksen paksuus (vaihtelualue)
- pinnoitusolosuhteet ja
- pinnoite-erän tunnistetiedot.

7.3 Arvostelu ja raportointi

Tulokset raportoidaan käytetyn standardin (NT FIRE 007) mukaisesti. Raportoinnin tulee sisältää

- testattujen koekappaleiden tunnistetiedot (pinnoite, pinnoitusalue, pinnoittaja – pinnoituksen dokumentoinnin osalta ks. myös kohta 7.2 ”Koekappaleiden pinnoitus”)
- testausajankohta ja testauksessa käytetty standardi
- koetulokset raportoituna standardin mukaisesti.

7.4 Hyväksymiskriteerit

Pinnoitteen tulee täyttää vaatimukset (vaurion pituus – pinnoite ja alusta – sekä savuntiheys), jotka on esitetty lattiapinnoiteluokalle (L) Ympäristöministeriön julkaisussa: ”Rakennustuotteiden palotekninen hyväksyntä, Ympäristöopas 35, 1998”.

⁴ Huomautuksena: Standardin prEN ISO 92239-1 tullessa Suomessa virallisella tasolla noudatettavaksi standardiksi, siirrytään noudattamaan sen mukaista pinnan luokittelua, testausta ja arvostelua. Hyväksymiskriteerit määritellään tällöin myös asianmukaisesti uudelleen.